

УДК 621.4.01

А. В. ПУТЯТО, Е. Н. КОНОВАЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА
ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ВАГОНА ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Предложена расчетно-экспериментальная методика оценки остаточного ресурса металлоконструкции вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации. Методика основана на определении фактической долговечности по критерию усталостной прочности, причем амплитуды динамических напряжений для различных режимов нагружения определяются экспериментальным путем на натурном объекте – типовом представителе с наихудшим техническим состоянием. Контрольные зоны, для которых рассчитывается остаточный ресурс, устанавливаются по результатам прочностных расчетов.

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 [1] назначенный срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой использование объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния. В то же время, многолетняя практика эксплуатации железнодорожного подвижного состава показала, что зачастую техническое состояние вагона отработавшего назначенный срок службы весьма далеко от предельного. Это может быть связано как с резервом, заложенным на стадии проектирования, так и условиями эксплуатации. Поэтому в настоящее время широкое распространение получила процедура продления срока службы грузовых вагонов до возраста, равного полуторному назначенному изначально сроку службы.

Порядок реализации указанной процедуры изложен в «Положении о продлении сроков службы грузовых и рефрижераторных вагонов государств – участников соглашений о совместном использовании грузовых вагонов в международном сообщении», согласно которому остаточный ресурс вагона оценивается путем проведения технического диагностирования. Наряду с обследованием (контролем) технического состояния (его объем зависит от типа вагона и опасности перевозимых грузов), который заключается в изучении конструкторской документации, условий эксплуатации и проведения технических освидетельствований и ремонтов, выполнении наружного и внутреннего визуального контроля металлоконструкции, а также контроле сварных швов и основного металла неразрушающими методами (ультразвуковая толщинометрия металлоконструкции, ультразвуковая дефектоскопия, капиллярный контроль и т.п.), техническое диагностирование вагона подразумевает

проведение ресурсных ударных испытаний рассматриваемой модели вагона или ее аналога, под которым понимается вагон с аналогичными техническими и конструктивными характеристиками.

Следует отметить, что оцениваемый ресурс металлоконструкции при выполнении указанного вида испытаний характеризует работу вагона при воздействии только соответствующего спектра продольных ударных нагрузок. В то же время, ресурсные испытания должны максимально полно учитывать спектр эксплуатационных нагрузок, которые будут зависеть от типа вагона, условий его эксплуатации и рода перевозимого груза, оказывающего зачастую существенное влияние на значения амплитуд динамических напряжений в металлоконструкции вагона за счет взаимодействия с ней. Здесь также нужно отметить, что в настоящее время отсутствуют результаты ресурсных испытаний новых вагонов, технико-экономические показатели которых существенно отличаются от вагонов старого поколения, а назначенный срок службы, например, для нефтебензиновых вагонов-цистерн, уже более 40 лет составляет 32 года. Поэтому, актуальной является задача развития методов экспериментальной и расчетной оценки ресурса вагона, в том числе и остаточного после длительной эксплуатации.

Для оценки остаточного ресурса металлоконструкций вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации предлагается методика, основанная на подходе, изложенном в «Нормах для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм» [2] и РД 24.050.37 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества» [3]. В методике приняты следующие допущения:

- усталостное повреждение или разрушение материала вагона в основном происходит при упругом деформировании;
- параметром, определяющим циклическую прочность, является коэффициент запаса сопротивления усталости;
- справедлива гипотеза о линейном суммировании усталостных повреждений;
- для неустановившегося режима нагружения амплитудные значения динамических напряжений приводятся к эквивалентному симметричному циклу.

Коэффициент запаса сопротивления усталости определяется по формуле

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\vartheta}} \geq [n],$$

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения для базового числа циклов $N_0 = 10^7$; $\sigma_{a,\vartheta}$ – величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенная к базовому числу циклов N_0 , которая эквивалентна повреждающему воздействию реального режима экс-

плуатационных напряжений за расчетный срок службы; $[n]$ – минимально допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости за выбранный срок службы.

Расчетное значение $\sigma_{a,N}$ определяется по формуле

$$\sigma_{a,N} = \bar{\sigma}_{a,N} (1 - z_p \nu_{\sigma_{a,N}}),$$

где $\bar{\sigma}_{a,N}$ – среднее значение предела выносливости контрольной зоны; z_p – квантиль распределения $\sigma_{a,N}$, соответствующий односторонней вероятности 95%; $\nu_{\sigma_{a,N}}$ – коэффициент вариации предела выносливости материала.

Значение $\bar{\sigma}_{a,N}$ находится из соотношения

$$\bar{\sigma}_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{(k_{\sigma})},$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ – среднее значение предела выносливости гладкого стандартного образца (по ГОСТ 25.502) при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 10^7$ циклов; (k_{σ}) – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости в выбранной контрольной зоне по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца.

Таким образом, $\sigma_{a,\varepsilon}$ – параметр, включающий в себя срок службы металлоконструкции. Для его определения при k режимах нагружения воспользуемся формулой

$$\sigma_{a,\varepsilon} = m \sqrt{\sum_k \left[\frac{N_c^k}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m \cdot p_i^k \right]},$$

где m – показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах; N_c^k – суммарное число циклов динамических напряжений за расчетный срок службы кузова для k -го режима нагружения; N_0 – базовое число циклов; σ_{ai}^k – уровень амплитуд напряжений в i -м интервале k -го режима нагружения; p_i^k – вероятность (частота) действия уровня амплитуд $\sigma_{a,\varepsilon}$ в i -м интервале k -го режима нагружения.

Суммарное число циклов для k -го режима представим в виде

$$N_c^k = K_k T_p,$$

где K_k – коэффициент, связывающий суммарное число циклов динамических напряжений с расчетным суммарным сроком службы для k -го режима нагружения; T_p – суммарный расчетный срок службы.

Амплитудные значения динамических напряжений для неустановившегося режима нагружения, полученные по результатам натурных испытаний продлеваемого вагона приводятся к эквивалентному симметричному циклу по формуле

$$\sigma_a = \sigma_a^{\text{исп}} + \psi_k \sigma_m^{\text{исп}},$$

где $\sigma_a^{\text{исп}}$ – амплитуда динамического напряжения, полученная по результатам испытаний при несимметричном цикле нагружения; ψ_k – коэффициент чувствительности асимметрии цикла нагружения,

$$\psi_k = \frac{0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \sigma_B}{(k_\sigma)},$$

σ_B – временное сопротивление разрушению (подставляется в МПа); $\sigma_m^{\text{исп}}$ – среднее напряжение цикла, полученное по результатам испытаний.

Таким образом

$$\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m = \sum_k \left[\frac{K^k T_p}{N_0} \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m p_i^k \right]; T_p = N_0 \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m}{\sum_k \left[K^k \sum_i (\sigma_{ai}^k)^m p_i^k \right]}.$$

Уровень амплитуд напряжений σ_{ai}^k определяется экспериментальными методами с коррекцией на возможное изменение в связи с коррозионным износом в зависимости от типа грузового вагона. Применительно к вагону дизель-электростанции, учитывая специфику эксплуатации [4], амплитудные динамические напряжения предлагается определять для двух режимов нагружения: продольного ударного и сброса с клиньев. Зоны, подвергшиеся контролю при проведении экспериментальных исследований, определяются по результатам прочностных расчетов [5]. На рисунке 1 приведена геометрическая модель с указанием 25 контрольных точек, а также фрагменты напряженно-деформированного состояния металлоконструкции при различных режимах нагружения.

Искомая величина долговечности по критерию усталостной прочности для выбранной зоны определялась по следующей формуле:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m N_0}{N_{c1} \sum_i (\sigma_{ai}^I)^m P_i^I + N_{c2} \sum_j (\sigma_{aj}^{II})^m P_j^{II}},$$

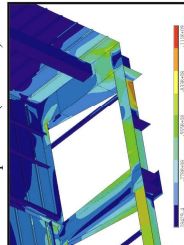
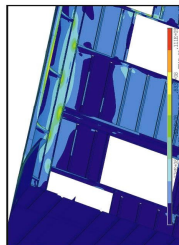
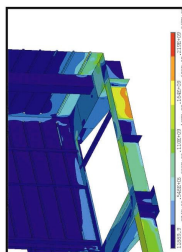
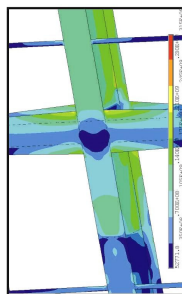
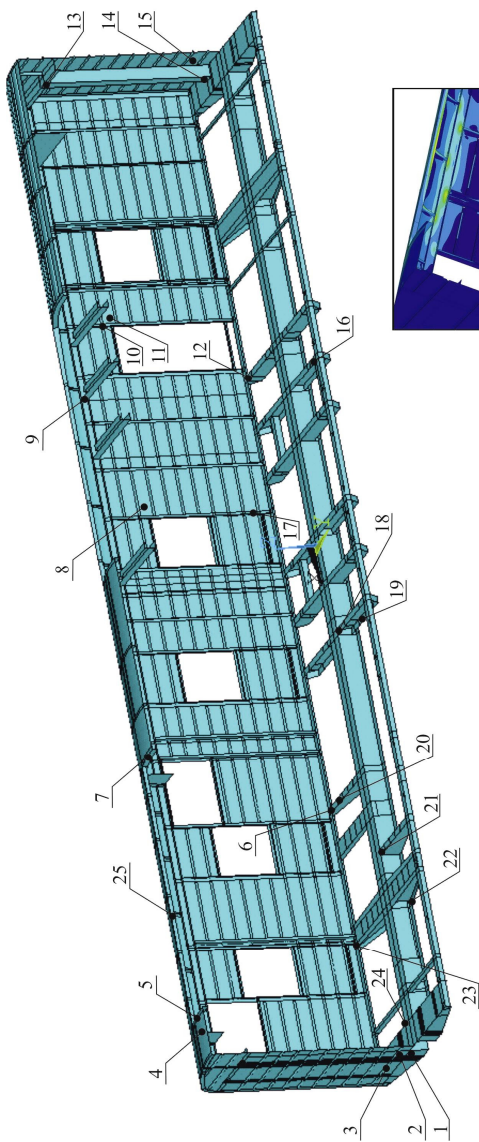


Рисунок 1 – Геометрическая модель с указанием 25 контрольных точек, а также фрагменты напряженно-деформированного состояния металлоконструкции при различных режимах нагружения

где N_{c1}, N_{c2} – числа циклов продольных соударений и вертикальный возмущений за 1 год эксплуатации; $\sigma_{ai}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплитуды динамических напряжений, приведённые к симметричному циклу, эквивалентные экспериментально полученным несимметричным при ударном нагружении и при сбросе вагона с клиньев; N_0 – базовое число циклов.

В качестве расчетного срока эксплуатации принималась минимальная из величин T_p для контрольных зон.

Таким образом, предложенная расчетно-экспериментальная методика позволяет выполнить оценку остаточного ресурса металлоконструкции вагона дизель-электростанции после длительной эксплуатации, и может быть использована специализированными организациями при обосновании продления срока службы рассмотренных вагонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения** : ГОСТ 27.002–89. – Введ. 01.07.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 71 с.

2 **Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных)** / ГосНИИВ–ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

3 **Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества**: РД 24.050.37–95. – Введ. 02.02.1995. – М.: ГосНИИВ, 1995. – 101 с.

4 **Вагон дизель-электростанция** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aswn.ru/design/freihtrcars/izotermicheskie/powerstation>. – Дата доступа: 25.04.2013.

5 **Прочность кузова и рамы вагона дизель-электростанции с учетом их фактического физического состояния после длительной эксплуатации** / А. В. Пуятю [и др.] // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – Гомель: БелГУТ, 2013. – Вып. 7. – С. 111–121.

A. V. PUTSIATA, E. N. KANAVALAU

RESIDUAL RESOURCE ESTIMATION SOLUTION-EXPERIMENTAL TECHNIQUE OF THE DIESEL ENGINE-POWER STATION WAGON CONSTRUCTION AT LONG OPERATION

The residual resource estimation solution-experimental technique of the diesel engine-power station wagon construction at long operation is proposed. The technique is based on the actual durability by the fatigue durability criterion, and besides the amplitudes of dynamic stresses for various loading modes are defined by experimental way with the use of the natural object – the typical representative of the worst technical condition. The control zones for the residual resource calculations are established by results of stress-strain state.

Получено 13.11.2014